



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108682425 A

(43)申请公布日 2018. 10. 19

(21)申请号 201810445749.5

(22)申请日 2018.05.11

(71)申请人 复旦大学

地址 200433 上海市杨浦区邯郸路220号

(72)发明人 李伟 陈轲

(74)专利代理机构 上海正旦专利代理有限公司

31200

代理人 陆飞 陆尤

(51)Int. Cl.

G10L 19/018(2013.01)

G10L 19/02(2013.01)

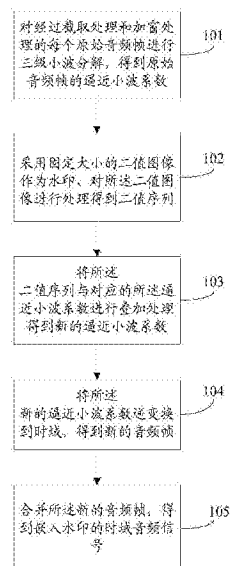
权利要求书4页 说明书12页 附图3页

(54)发明名称

一种基于恒定水印的鲁棒数字音频水印嵌入系统

(57)摘要

本发明公开一种基于恒定水印的鲁棒数字音频水印嵌入系统。该方法包括：对经过截取处理和加窗处理的每个音频帧进行三级小波分解，得到每个音频帧的逼近小波系数；采用固定大小的二值图像作为水印，对所述二值图像进行处理得到二值序列；将所述二值序列与对应的所述逼近小波系数进行叠加处理，得到新的逼近小波系数；将新的逼近小波系数逆变换到时域，得到新的音频帧；合并新的音频帧，得到嵌入水印的时域音频信号。通过盲水印的检测方法得到误比特率。采用本发明的方法或系统，可以使数字音频在抵御各类攻击时具有更高的鲁棒性，提高数字音频的安全性，保证音频水印的快速准确检测。



1. 一种基于恒定水印的鲁棒数字音频水印嵌入方法,其特征在于,包括:

对经过截取处理和加窗处理的每个原始音频帧进行三级小波分解,得到每个所述原始音频帧的逼近小波系数;

采用固定大小的二值图像作为水印,对所述二值图像进行处理得到二值序列;

将所述二值序列,与对应的所述逼近小波系数进行叠加处理,得到新的逼近小波系数;

将所述新的逼近小波系数逆变换到时域,得到新的音频帧;

合并所述新的音频帧,得到嵌入水印的时域音频信号。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,对经过截取处理和加窗处理的每个音频帧进行三级小波分解,具体包括:

对输入的音频信号进行定帧长分帧,得到所述经过截取处理的音频帧;

对所述音频帧按如下公式加汉明窗:

$$w(i) = 0.54 - 0.46 * \cos(2\pi i/L)$$

其中,i表示窗函数中的第i个点,w(i)表示对应的第i个窗函数值;L表示帧长;

对每个所述的音频帧进行三级小波分解,小波基选用Daubechies或haar,得到每个音频帧的逼近小波系数。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述采用固定大小的二值图像作为水印,对所述二值图像进行处理得到二值序列,具体包括:

采用公式 $W = \{w(i); w(i) \in \{1, 0\}, 1 \leq i \leq n*n\}$,对所述二值图像进行降维处理得到一维序列;

其中,W表示最终的一维序列;n表示像素点数, $n*n$ 表示一个n行n列的二值图像;

采用公式 $w'(i) = 1 - 2*w(i)$,对所述一维序列中的每个水印比特位采用二进制相位移控进行调制映射,得到反相序列;

其中, $w'(i)$ 表示经过调制后的序列;

采用公式

$$w'(k) = w'(i) \quad N*i - 4 \leq k \leq N*i$$

$$W' = \{w'(k); w'(k) \in \{+1, -1\}, 1 \leq k \leq n*n*N\}$$

对所述反相序列应用重复码技术得到二值序列;

其中, $w'(k)$ 表示应用重复码后得到的序列,k是新序列的标号, W' 表示最后的序列,N表示重复码倍数。

4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述将所述二值图像以所述二值序列的形式,嵌入到每一个原始音频帧中,与所述逼近小波系数进行叠加处理,具体包括:

将小波系数与对应的所述序列值进行叠加处理,所述二值序列的每一个序列值与相应音频帧的ca3级的每一个逼近小波系数一一对应,得到原始音频在同一位置的新的逼近小波系数;

采用公式

$$\begin{cases} \text{if } w'(k) = 1 & x'(k, j) = x(k, j) - m(k) + \alpha \\ \text{if } w'(k) = -1 & x'(k, j) = x(k, j) - m(k) - \alpha \end{cases}$$

将 $W'(k)$ 嵌入到所述音频帧中,得到嵌入水印的音频信号;

其中, $x'(k, j)$ 表示新的音频第 k 帧 $ca3$ 级第 j 个逼近小波系数, $x(k, j)$ 表示原始音频第 k 帧 $ca3$ 级第 j 个逼近小波系数, $m(k)$ 是原始音频第 k 帧 $ca3$ 级逼近小波系数的平均值, α 是与 $m(k)$ 同量级的一个实数。

5. 一种基于恒定水印的鲁棒数字音频水印检测方法, 其特征在于, 包括:

对经过截取处理和加窗处理的带水印音频信号求取每帧中 $ca3$ 级逼近信号小波系数的平均值;

根据所述平均值的正负号得到应用重复码技术后的嵌入序列, 提取出所有的嵌入比特, 得到嵌入水印比特序列;

对所述嵌入水印比特序列进行择优选择, 通过解调得到检测出的水印比特序列;

对所述水印比特序列进行升维转换, 得到作为水印的二值图像。

6. 根据权利要求5所述的方法, 其特征在于, 所述对经过截取处理和加窗处理的带水印音频信号求取每帧中 $ca3$ 级逼近信号小波系数的平均值, 根据所述平均值的正负号得到应用重复码技术后的嵌入序列, 提取出所有的嵌入比特, 得到嵌入水印比特序列, 具体包括:

将所述带水印输入音频信号进行定帧长分帧, 加汉明窗, 得到所述经过截取处理和加窗处理的带水印音频信号;

采用公式

$$w'(k) = \text{sign}(\text{mean}(ca3(k))), 1 \leq k \leq n \times n \times N$$

其中, k 是序列标号, $w'(k)$ 是带水印音频在该位置处的序列值, N 表示重复码的倍数, n 表示所述二值图像的行或列数;

计算所述带水印音频信号每帧中 $ca3$ 级逼近信号小波系数的平均值, 若该平均值大于 0, 则提取出一个比特 '1'; 若该平均值小于 0, 则提取出一个比特 '-1', 不断重复该过程直到所有所述嵌入比特都被提取出来, 得到所述嵌入水印比特序列。

7. 根据权利要求5所述的方法, 其特征在于, 所述对所述嵌入水印比特序列进行择优选择, 通过解调得到检测出的水印比特序列, 具体包括:

采用公式

$$w'(i) = \text{sign}\left(\sum_{k=N*(i-1)+1}^{k=N*i} w'(k)\right), 1 \leq i \leq n \times n$$

$$w''(i) = (1 - w'(i)) / 2, 1 \leq i \leq n \times n$$

对所述嵌入水印比特序列进行择优选择, 通过解调得到检测出的水印比特序列 $w''(i)$ 。

8. 根据权利要求5所述的方法, 其特征在于, 所述对所述水印比特序列进行升维转换, 得到作为水印的二值图像, 具体包括:

经过升维处理将所述提取出的一维比特序列 $w''(i)$ 转换为作为水印的二值图像。

9. 一种基于恒定水印的鲁棒数字音频水印嵌入系统, 其特征在于, 包括:

小波分解模块, 用于对所述经过截取处理和加窗处理的每个音频帧进行三级小波分解, 得到每个音频帧的逼近小波系数;

二值图像处理模块, 用于采用固定大小的二值图像作为水印, 将所述二值图像进行处理得到二值序列;

叠加模块, 用于将所述二值序列, 嵌入到每一个对应的原始音频帧中, 与对应的所述逼近小波系数进行叠加处理, 得到新的逼近小波系数;

逆变换模块,用于将所述新的逼近小波系数逆变换到时域,得到新的音频帧;

合并模块,用于合并所述新的音频帧,得到嵌入水印的时域音频信号。

10. 根据权利要求9所述的系统,其特征在于,所述小波分解模块,具体包括:

分帧单元,用于对输入的音频信号进行定帧长分帧,得到所述经过截取处理的音频帧;

加窗单元,用于对所述音频帧按如下公式加汉明窗:

$$w(i) = 0.54 - 0.46 * \cos(2\pi i/L)$$

其中, i 表示窗函数中的第 i 个点, $w(i)$ 表示对应的第 i 个窗函数值; L 表示帧长;

小波分解单元,用于对每个所述的音频帧进行三级小波分解,小波基选用Daubechies或haar,得到每个音频帧的逼近小波系数。

11. 根据权利要求9所述的系统,其特征在于,所述二值图像处理模块,包括二值图像处理单元,具体包括:

降维单元,用于采用公式 $W = \{w(i); w(i) \in \{1, 0\}, 1 \leq i \leq n*n\}$,对所述二值图像进行降维处理得到一维序列;

其中, W 表示最终的一维序列; n 表示像素点数, $n*n$ 表示一个 n 行 n 列的二值图像;

二进制相位移控单元,用于采用公式 $w'(i) = 1 - 2*w(i)$,对所述一维序列中的每个水印比特位进行二进制相位移控进行调制映射,得到反相序列;

其中, $w'(i)$ 表示经过调制后的序列;

重复码技术应用单元,用于采用公式

$$w'(k) = w'(i) \quad N*i - 4 \leq k \leq N*i$$

$$W' = \{w'(k); w'(k) \in \{+1, -1\}, 1 \leq k \leq n*n*N\}$$

对所述反相序列应用重复码技术得到二值序列;

其中, $w'(k)$ 表示应用重复码后得到的序列, k 是新序列的标号, W' 表示最后的序列, N 表示重复码的倍数, n 表示所述二值图像的行或列数。

12. 根据权利要求9所述的系统,其特征在于,所述叠加模块,包括叠加单元,用于将小波系数与对应的所述序列值进行叠加处理,所述二值序列的每一个序列值与相应音频帧的ca3级的每一个逼近小波系数一一对应,得到原始音频在同一位置的新的逼近小波系数;

采用公式

$$\begin{cases} \text{if } w'(k) = 1 & x'(k, j) = x(k, j) - m(k) + \alpha \\ \text{if } w'(k) = -1 & x'(k, j) = x(k, j) - m(k) - \alpha \end{cases}$$

将 $W'(k)$ 嵌入到所述音频帧中;

其中, $x'(k, j)$ 表示新的音频第 k 帧ca3级第 j 个逼近小波系数, $x(k, j)$ 表示原始音频第 k 帧ca3级第 j 个逼近小波系数, $m(k)$ 是原始音频第 k 帧ca3级逼近小波系数的平均值, α 是与 $m(k)$ 同量级的一个实数。

13. 一种基于恒定水印的鲁棒数字音频水印检测系统,其特征在于,包括:

平均值求取模块,用于对经过截取处理和加窗处理的带水印音频信号求取每帧中ca3级逼近信号小波系数的平均值;

嵌入水印比特序列获取模块,用于根据所述平均值的正负号得到应用重复码技术后的嵌入序列,提取出所有的嵌入比特,得到嵌入水印比特序列;

择优调制模块,用于对所述嵌入水印比特序列进行择优选择,通过解调得到检测出的水印比特序列;

二值图像获取模块,用于对所述水印比特序列进行升维转换,得到作为水印的二值图像。

14. 根据权利要求13所述的系统,其特征在于,所述平均值求取模块包括平均值求取单元,具体包括:

分帧单元,用于对带水印的音频信号进行定帧长分帧,得到所述经过截取处理的音频帧;

加窗单元,用于对所述音频帧加汉明窗,得到所述经过加窗处理的音频帧;

平均值求取单元,用于对所述经过截取处理和加窗处理的带水印音频信号求取每帧中ca3级逼近信号小波系数的平均值。

15. 据权利要求13所述的系统,其特征在于,所述嵌入水印比特序列获取模块包括嵌入水印比特序列获取单元,具体包括:

提取单元,用于根据所述平均值的正负号得到应用重复码技术后的嵌入序列,提取出所有的嵌入比特,得到嵌入水印比特序列;

嵌入水印比特序列获取单元,采用公式

$$w'(k) = \text{sign}(\text{mean}(\text{ca3}(k))), 1 \leq k \leq n \cdot n \cdot N$$

计算每帧中ca3级逼近信号小波系数的平均值,并根据平均值的正负号得到应用重复码技术后的嵌入水印比特序列;

其中,k是序列标号,w'(k)是带水印音频在该位置处的序列值,N表示重复码的倍数,n表示所述二值图像的行或列数;

若该平均值大于0,则提取出一个比特'1';若该平均值小于0,则提取出一个比特'-1',不断重复该过程直到所有嵌入比特都被提取出来,得到嵌入水印比特序列。

16. 据权利要求13所述的系统,其特征在于,所述择优调制模块,包括择优调制单元,采用公式

$$w'(i) = \text{sign}\left(\sum_{k=N*(i-1)+1}^{k=N*i} w'(k)\right), 1 \leq i \leq n \cdot n$$

$$w''(i) = (1 - w'(i)) / 2, 1 \leq i \leq n \cdot n$$

对所述嵌入水印比特序列进行择优选择,通过解调得到检测出的水印比特序列w''(i)。

17. 据权利要求13所述的系统,其特征在于,所述二值图像获取模块包括二值图像获取单元,用于对所述比特序列w''(i)进行升维转换,得到作为水印的二值图像。

一种基于恒定水印的鲁棒数字音频水印嵌入系统

技术领域

[0001] 本发明涉及数字水印领域,特别是一种基于恒定水印的鲁棒数字音频水印嵌入系统。

背景技术

[0002] 伴随着网络技术与多媒体技术的飞速发展,数字多媒体信息在人们生活中变得日益重要,而数字信息又极易被无限制任意编辑、复制与散布,从而导致数字媒体作品的原创者蒙受巨大经济损失。数字作品的知识产权保护已经成为一个迫切需要解决的问题。而传统加密技术只能提供小范围保护,且具有安全性不足和流通性较差等弱点。数字水印作为一种潜在的解决方案受到了广泛关注。数字音频水印技术与通信系统十分类似,音频作品视为信道,水印视为待传输的信号。它是一种在不影响原始音频质量的条件下向其中嵌入具有特定意义且易于提取信息的技术,这些嵌入的信息用于标识版权、作品序列、文字信息甚至是图像或者音频。数字水印技术一般可以分为鲁棒水印技术和脆弱数字水印技术两类,鲁棒水印技术能够经受各种常规的编辑处理;脆弱数字水印则对信号的改动很敏感,这两种技术依据保护程度需求的差异而被分别选择应用到不同的数字音频中。

[0003] 目前的数字音频水印算法分为时间域算法、频率域算法、压缩域算法三类;Cox等人在其2001年出版的专著《Digital Watermarking》中详细描述了稳定水印的概念,此外还介绍了穷举搜索、显式同步标记、自同步、隐含水印等几种可以用于抵抗时域同步攻击的方法。第一代数字水印技术是将水印植入到时间域样本/空间域像素或频率域变换系数,没有明显地利用知觉上重要的数据特征,把信息嵌入到数据知觉上最重要的部分;之后第二代数字水印技术也发展起来,Kutter等明确指出在水印过程中要充分利用媒体中重要的数据特征,提取出来的特征可以作为标准水印方法的辅助手段或者在嵌入过程中直接使用提取出来的特征。

[0004] 现有技术中抵抗同步攻击的几种方法:第一、穷举搜索,即是通过定义有关参数(如时间缩放及延迟)的变化范围和变化步长,使它们的每种组合代表一个假设已经对作品进行的攻击,检测水印时首先逆转每个可能的组合,然后各应用一次水印检测器。这种方法随着搜索空间增大计算量也急剧增大,且对水印检测器多次操作会增加虚警率,只适用于小搜索空间。第二、自相关,具有自相关性质的嵌入数据可同时作为同步数据和负载数据。自相关函数在零点有一个大的峰值,在非零点上迅速减小到零。第三、同步标记,在水印数据中除了数据负载之外再加上一个同步标记,水印检测时首先找到同步标记,然后通过嵌入时的同步标记比较来识别作品受到的攻击,这些攻击被逆转后再检测水印数据,这种方法会增加虚警率,且安全性低。以上思想都是在检测水印前首先检测并逆转攻击对作品造成的失真。

发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种基于恒定水印的鲁棒数字音频水印嵌入系统,能更好地

抵御各类数字音频水印攻击,提高数字音频安全性。

[0006] 为实现上述目的,本发明提供了如下方案:

[0007] 一种基于恒定水印的鲁棒数字音频水印嵌入方法,包括:

[0008] 对经过截取处理和加窗处理的每个原始音频帧进行三级小波分解,得到每个所述原始音频帧的逼近小波系数;

[0009] 采用固定大小的二值图像作为水印,对所述二值图像进行处理得到二值序列;

[0010] 将所述二值序列,与对应的所述逼近小波系数进行叠加处理,得到新的逼近小波系数;

[0011] 将所述新的逼近小波系数逆变换到时域,得到新的音频帧;

[0012] 合并所述新的音频帧,得到嵌入水印的时域音频信号。

[0013] 可选的,所述对经过截取处理和加窗处理的每个音频帧进行三级小波分解,具体包括:

[0014] 对输入的音频信号进行定帧长分帧,得到所述经过截取处理的音频帧;

[0015] 对所述音频帧按如下公式加汉明窗,得到所述经过加窗处理的音频帧:

[0016] $w(i) = 0.54 - 0.46 \cos(2\pi i/L)$

[0017] 其中, i 表示帧号, $w(i)$ 表示第 i 帧对应的窗函数系数;

[0018] 对每个所述的音频帧进行三级小波分解,小波基选用Daubechies或haar,得到每个音频帧的逼近小波系数。

[0019] 可选的,所述采用固定大小的二值图像作为水印,对所述二值图像进行处理得到二值序列,具体包括:

[0020] 采用公式 $W = \{w(i); w(i) \in \{1, 0\}, 1 \leq i \leq n*n\}$,对所述二值图像进行降维处理得到一维序列;

[0021] 其中, W 表示最终的一维序列; n 表示像素点数, $n*n$ 表示一个 n 行 n 列的二值图像;

[0022] 采用公式 $w'(i) = 1 - 2*w(i)$,对所述一维序列中的每个水印比特位采用二进制相位移控进行调制映射,得到反相序列;

[0023] 其中, $w'(i)$ 表示经过调制后的序列;

[0024] 采用公式

[0025] $w'(k) = w'(i) N*i - 4 \leq k \leq N*i$

[0026] $W' = \{w'(k); w'(k) \in \{+1, -1\}, 1 \leq k \leq n*n*N\}$

[0027] 对所述反相序列应用重复码技术得到二值序列;

[0028] 其中, $w'(k)$ 表示应用重复码后得到的序列, k 是新序列的标号, W' 表示最后的序列, N 表示重复码倍数。

[0029] 可选的,所述将所述二值图像以所述二值序列的形式,嵌入到每一个原始音频帧中,与所述逼近小波系数进行叠加处理,具体包括:

[0030] 将小波系数与对应的所述序列值进行叠加处理,所述二值序列的每一个序列值与相应音频帧的ca3级的每一个逼近小波系数一一对应,得到原始音频在同一位置的新的逼近小波系数;

[0031] 采用公式

$$[0032] \quad \begin{cases} \text{if } w'(k) = 1 & x'(k, j) = x(k, j) - m(k) + \alpha \\ \text{if } w'(k) = -1 & x'(k, j) = x(k, j) - m(k) - \alpha \end{cases}$$

[0033] 将 $w'(k)$ 嵌入到所述音频帧中,得到嵌入水印的音频信号;

[0034] 其中, $x'(k, j)$ 表示新的音频第 k 帧ca3级第 j 个逼近小波系数, $x(k, j)$ 表示原始音频第 k 帧ca3级第 j 个逼近小波系数, $m(k)$ 是原始音频第 k 帧ca3级逼近小波系数的平均值, α 是与 $m(k)$ 同量级的一个实数。

[0035] 一种基于恒定水印的鲁棒数字音频水印检测方法,包括:

[0036] 对经过截取处理和加窗处理的带水印音频信号求取每帧中ca3级逼近信号小波系数的平均值;

[0037] 根据所述平均值的正负号得到应用重复码技术后的嵌入序列,提取出所有的嵌入比特,得到嵌入水印比特序列;

[0038] 对所述嵌入水印比特序列进行择优选择,通过解调得到检测出的水印比特序列;

[0039] 对所述水印比特序列进行升维转换,得到作为水印的二值图像。

[0040] 可选的,所述对经过截取处理和加窗处理的带水印音频信号求取每帧中ca3级逼近信号小波系数的平均值,根据所述平均值的正负号得到应用重复码技术后的嵌入序列,提取出所有的嵌入比特,得到嵌入水印比特序列,具体包括:

[0041] 将所述带水印输入音频信号进行定帧长分帧,加汉明窗,得到所述经过截取处理和加窗处理的带水印音频信号;

[0042] 采用公式

$$[0043] \quad w'(k) = \text{sign}(\text{mean}(\text{ca3}(k))), 1 \leq k \leq n \times n \times N$$

[0044] 其中, k 是序列标号, $w'(k)$ 是带水印音频在该位置处的序列值, N 表示重复码的倍数, n 表示所述二值图像的行或列数;

[0045] 计算所述带水印音频信号每帧中ca3级逼近信号小波系数的平均值,若该平均值大于0,则提取出一个比特‘1’;若该平均值小于0,则提取出一个比特‘-1’,不断重复该过程直到所有所述嵌入比特都被提取出来,得到所述嵌入水印比特序列。

[0046] 可选的,所述对所述嵌入水印比特序列进行择优选择,通过解调得到检测出的水印比特序列,具体包括:

[0047] 采用公式

$$[0048] \quad w'(i) = \text{sign}\left(\sum_{k=N*(i-1)+1}^{k=N*i} w'(k)\right), 1 \leq i \leq n \times n$$

$$[0049] \quad w''(i) = (1 - w'(i)) / 2, 1 \leq i \leq n \times n$$

[0050] 对所述嵌入水印比特序列进行择优选择,通过解调得到检测出的水印比特序列 $w''(i)$ 。

[0051] 可选的,所述对所述水印比特序列进行升维转换,得到作为水印的二值图像,具体包括:

[0052] 经过升维处理将所述提取出的一维比特序列 $w''(i)$ 转换为作为水印的二值图像;

[0053] 一种基于恒定水印的鲁棒数字音频水印嵌入系统,包括:

[0054] 小波分解模块,用于对所述经过截取处理和加窗处理的每个音频帧进行三级小波

分解,得到每个音频帧的逼近小波系数;

[0055] 二值图像处理模块,用于采用固定大小的二值图像作为水印,将所述二值图像进行处理得到二值序列;

[0056] 叠加模块,用于将所述二值序列,嵌入到每一个对应的原始音频帧中,与对应的所述逼近小波系数进行叠加处理,得到新的逼近小波系数;

[0057] 逆变换模块,用于将所述新的逼近小波系数逆变换到时域,得到新的音频帧;

[0058] 合并模块:用于合并所述新的音频帧,得到嵌入水印的时域音频信号。

[0059] 可选的,所述小波分解模块,具体包括:

[0060] 分帧单元,用于对输入的音频信号进行定帧长分帧,得到所述经过截取处理的音频帧;

[0061] 加窗单元,用于对所述音频帧按如下公式加汉明窗:

[0062] $w(i) = 0.54 - 0.46 * \cos(2\pi i / 256)$

[0063] 其中, i 表示帧号, $w(i)$ 表示第 i 帧对应的窗函数系数;

[0064] 小波分解单元,用于对每个所述的音频帧进行三级小波分解,小波基选用Daubechies或haar,得到每个音频帧的逼近小波系数。

[0065] 可选的,所述二值图像处理模块,包括二值图像处理单元,具体包括:

[0066] 降维单元,用于采用公式 $W = \{w(i); w(i) \in \{1, 0\}, 1 \leq i \leq n*n\}$,对所述二值图像进行降维处理得到一维序列;

[0067] 其中, W 表示最终的一维序列; n 表示像素点数, $n*n$ 表示一个 n 行 n 列的二值图像;

[0068] 二进制相位移控单元,用于采用公式 $w'(i) = 1 - 2*w(i)$,对所述一维序列中的每个水印比特位进行二进制相位移控进行调制映射,得到反相序列;

[0069] 其中, $w'(i)$ 表示经过调制后的序列;

[0070] 重复码技术应用单元,用于采用公式

[0071] $w'(k) = w'(i) N*i - 4 \leq k \leq N*i$

[0072] $W' = \{w'(k); w'(k) \in \{+1, -1\}, 1 \leq k \leq n*n*N\}$

[0073] 对所述反相序列应用重复码技术得到二值序列;

[0074] 其中, $w'(k)$ 表示应用重复码后得到的序列, k 是新序列的标号, W' 表示最后的序列。

[0075] 可选的,所述叠加模块,包括叠加单元,用于将小波系数与对应的所述序列值进行叠加处理,所述二值序列的每一个序列值与相应音频帧的ca3级的每一个逼近小波系数一一对应,得到原始音频在同一位置的新的逼近小波系数;

[0076] 采用公式

[0077]
$$\begin{cases} \text{if } w'(k) = 1 & x'(k, j) = x(k, j) - m(k) + \alpha \\ \text{if } w'(k) = -1 & x'(k, j) = x(k, j) - m(k) - \alpha \end{cases}$$

[0078] 将 $W'(k)$ 嵌入到所述音频帧中;

[0079] 其中, $x'(k, j)$ 表示新的音频第 k 帧ca3级第 j 个逼近小波系数, $x(k, j)$ 表示原始音频第 k 帧ca3级第 j 个逼近小波系数, $m(k)$ 是原始音频第 k 帧ca3级逼近小波系数的平均值, α 是与 $m(k)$ 同量级的一个实数。

[0080] 一种基于恒定水印的鲁棒数字音频水印检测系统,包括:

[0081] 平均值求取模块,用于对经过截取处理和加窗处理的带水印音频信号求取每帧中ca3级逼近信号小波系数的平均值;

[0082] 嵌入水印比特序列获取模块,用于根据所述平均值的正负号得到应用重复码技术后的嵌入序列,提取出所有的嵌入比特,得到嵌入水印比特序列;

[0083] 择优调制模块,用于对所述嵌入水印比特序列进行择优选择,通过解调得到检测出的水印比特序列;

[0084] 二值图像获取模块,用于对所述水印比特序列进行升维转换,得到作为水印的二值图像。

[0085] 可选的,所述平均值求取模块包括平均值求取单元,具体包括:

[0086] 分帧单元,用于对带水印的音频信号进行定帧长分帧,得到所述经过截取处理的音频帧;

[0087] 加窗单元,用于对所述音频帧加汉明窗,得到所述经过加窗处理的音频帧;

[0088] 平均值求取单元,用于对所述经过截取处理和加窗处理的带水印音频信号求取每帧中ca3级逼近信号小波系数的平均值。

[0089] 可选的,所述嵌入水印比特序列获取模块包括嵌入水印比特序列获取单元,具体包括:

[0090] 提取单元,用于根据所述平均值的正负号得到应用重复码技术后的嵌入序列,提取出所有的嵌入比特,得到嵌入水印比特序列;

[0091] 嵌入水印比特序列获取单元,采用公式

$$[0092] \quad w'(k) = \text{sign}(\text{mean}(\text{ca3}(k))), 1 \leq k \leq n * N$$

[0093] 计算每帧中ca3级逼近信号小波系数的平均值,并根据平均值的正负号得到应用重复码技术后的嵌入水印比特序列;

[0094] 其中,k是序列标号,w'(k)是带水印音频在该位置处的序列值,N表示重复码的倍数,n表示所述二值图像的行或列数;

[0095] 若该平均值大于0,则提取出一个比特'1';若该平均值小于0,则提取出一个比特'-1',不断重复该过程直到所有嵌入比特都被提取出来,得到嵌入水印比特序列。

[0096] 可选的,所述择优调制模块,包括择优调制单元,采用公式

$$[0097] \quad w'(i) = \text{sign}\left(\sum_{k=N*(i-1)+1}^{k=N*i} w'(k)\right), 1 \leq i \leq n * n$$

$$[0098] \quad w''(i) = (1 - w'(i)) / 2, 1 \leq i \leq n * n$$

[0099] 对所述嵌入水印比特序列进行择优选择,通过解调得到检测出的水印比特序列w''(i)。

[0100] 可选的,所述二值图像获取模块包括二值图像获取单元,用于对所述比特序列w''(i)进行升维转换,得到作为水印的二值图像。

[0101] 根据本发明提供的具体实施例,本发明公开了以下技术效果:

[0102] 本发明提供了一种基于恒定水印的鲁棒数字音频水印嵌入系统,采用基于小波域的逼近系数统计平均值算法,将恒定水印嵌入到对应数字音频之中,使数字音频在抵御各类攻击时具有更高的鲁棒性,提高了数字音频的安全性,更好地保护了数字音频作品原创

者的权益;采用盲水印的方法进行检测,不需要原始音频数据就能进行检测,保证了音频水印的快速准确检测。

附图说明

[0103] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0104] 图1为本发明实施例一种基于恒定水印的鲁棒数字音频水印的嵌入方法流程图;

[0105] 图2为本发明实施例一种基于恒定水印的鲁棒数字音频水印的检测方法流程图;

[0106] 图3为本发明实施例一种基于恒定水印的鲁棒数字音频水印嵌入系统结构示意图;

[0107] 图4为本发明实施例一种基于恒定水印的鲁棒数字音频水印检测系统结构示意图。

具体实施方式

[0108] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0109] 本发明的目的是提供一种基于恒定水印的鲁棒数字音频水印嵌入系统,能更好地抵御各类数字音频水印攻击,提高数字音频安全性。

[0110] 小波变换是一种新型的信号处理技术,尤其适用于对音频这样的非平稳信号进行分析和处理。一维离散小波变换(DWT)把信号分成高频段和低频段,低频段被进一步分解成高频和低频两部分。连续对时域信号进行高通和低通滤波,信号最终被分解为一个逼近信号和一系列细节信号,在音频分析和分类中,为了减少特征矢量的维数,可以采用小波系数集中每个子带中小波系数绝对值的平均值作为特征矢量,小波系数平均值从逼近信号的小波系数计算得到,这些系数代表音频信号感知上最重要的低频分量,对一般信号处理如MP3压缩、低通滤波等是稳定的。并且,由于相邻音频样本点或小的音频片断之间具有高度的相关性,在随机剪切掉少数样本点时,即使引起个别小波系数发生较大的改变,也不会使统计平均值发生太大变化,比如从正变负或从负变正,对时间域的随机剪切具有稳定性。这样,该统计平均值对时间域的随机剪切也应该是稳定的。因此,逼近信号的小波系数平均值可以作为一个很好的嵌入水印的物理量。本发明的核心思想就是试图找到这样一种对大多数音频信号处理和恶意的随机剪切攻击不敏感的特征,即‘稳定水印’。

[0111] 因此,无论是从计算难度还是从抵御的鲁棒性来衡量,逼近信号的小波系数平均值都是恒定水印中很好的一个物理量,相比于隐含同步方法寻找对各种攻击稳定的特征点作为水印嵌入的参照位置,对于特征点时序相对关系有着严格的要求,本发明采用基于恒定水印(Invariant Watermark)的思想去寻找一个对各种攻击不敏感的物理量来直接嵌入

水印,也就是试图找到这样一种对大多数音频信号处理和恶意的随机剪切攻击不敏感的特征,即‘稳定水印’,本发明的算法结合重复纠错编码对MP3压缩、低通滤波、均衡化、回声、重采样、噪声、幅度缩放等常规音频信号处理具有很强的抵抗能力,对均匀的抖动攻击和非均匀的随机剪切、时间缩放、变调等也具有很好的鲁棒性,能更好地抵御各类数字音频水印攻击的目的存在更高的稳定性和更全面的泛用性。

[0112] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0113] 图1为本发明实施例一种基于恒定水印的鲁棒数字音频水印的嵌入方法流程图。如图1所示,本实施例提供的一种基于恒定水印的鲁棒数字音频水印的嵌入方法,包括:

[0114] 步骤101:对经过截取处理和加窗处理的每个原始音频帧进行三级小波分解,得到每个所述原始音频帧的逼近小波系数。

[0115] 步骤102:采用固定大小的二值图像作为水印,对所述二值图像进行处理得到二值序列。

[0116] 步骤103:将所述二值序列,与对应的所述逼近小波系数进行叠加处理,得到新的逼近小波系数。

[0117] 步骤104:将所述新的逼近小波系数逆变换到时域,得到新的音频帧。

[0118] 步骤105:合并所述新的音频帧,得到嵌入水印的时域音频信号。

[0119] 所述对经过截取处理和加窗处理的每个原始音频帧进行三级小波分解,得到每个所述原始音频帧的逼近小波系数,具体包括:

[0120] 将频率为44100Hz的输入音频信号首先按照2048点帧长分割成帧,得到所述经过截取处理的音频帧。

[0121] 对所述音频帧按如下公式加汉明窗,得到所述经过加窗处理的音频帧:

[0122] $w(i) = 0.54 - 0.46 * \cos(2\pi i / 256)$

[0123] 其中, i 表示帧号, $w(i)$ 表示第 i 帧对应的窗函数系数。

[0124] 对每个所述的音频帧进行三级小波分解,小波基选用Daubechies或haar,得到每个音频帧的逼近小波系数;采用 24×24 的二值图像作为水印,通过公式:

[0125] $W = \{w(i); w(i) \in \{1, 0\}, 1 \leq i \leq 24 * 24\}$,对所述二值图像进行降维处理得到一维序列;其中, W 表示最终的一维序列。

[0126] 采用公式 $w'(i) = 1 - 2 * w(i)$,对所述一维序列中的每个水印比特位进行二进制相位移控进行调制映射,得到反相序列;其中, $w'(i)$ 表示经过调制后的序列;采用公式

[0127] $w'(k) = w'(i) \quad 5 * i - 4 \leq k \leq 5 * i$

[0128] $W' = \{w'(k); w'(k) \in \{+1, -1\}, 1 \leq k \leq 24 * 24 * 5\}$

[0129] 对所述反相序列应用5倍重复码得到二值序列;其中, $w'(k)$ 表示应用重复码后得到的序列, k 是新序列的标号, W' 表示最后的序列。

[0130] 所述将所述二值图像以所述二值序列的形式,嵌入到每一个原始音频帧中,与所述逼近小波系数进行叠加处理,得到新的逼近小波系数,具体包括:

[0131] 将小波系数与对应的所述序列值进行叠加处理,所述二值序列的每一个序列值与相应音频帧的ca3级的每一个逼近小波系数一一对应,得到原始音频在同一位置的新的逼近小波系数;

[0132] 采用公式

$$[0133] \quad \begin{cases} \text{if } w'(k) = 1 & x'(k, j) = x(k, j) - m(k) + \alpha \\ \text{if } w'(k) = -1 & x'(k, j) = x(k, j) - m(k) - \alpha \end{cases}$$

[0134] 其中, $x'(k, j)$ 表示原始音频第 k 帧 ca3 级第 j 个逼近小波系数, $x(k, j)$ 表示新的音频第 k 帧 ca3 级第 j 个逼近小波系数, $m(k)$ 是原始音频第 k 帧 ca3 逼近小波系数的平均值, α 是与 $m(k)$ 同量级的一个常量。

[0135] 将 $w'(k)$ 嵌入到所述音频帧中, 得到嵌入水印的音频信号; 具体的, 依照所述序列每一处的值, 将原始音频的逼近小波系数通过减去平均值, 再加上 (或减去) 某一个作为调节平衡的实数常量 α , 得到原始音频在同一位置的新的逼近小波系数, α 只要满足与 $m(k)$ 同量级即可。

[0136] 图2为本实施例一种基于恒定水印的鲁棒数字音频水印的检测方法流程图。如图2所示, 本实施例提供的一种基于恒定水印的鲁棒数字音频水印的嵌入方法, 包括:

[0137] 步骤201: 对经过截取处理和加窗处理的带水印音频信号求取每帧中 ca3 级逼近信号小波系数的平均值。

[0138] 步骤202: 根据所述平均值的正负号得到应用重复码技术后的嵌入序列, 提取出所有的嵌入比特, 得到嵌入水印比特序列。

[0139] 步骤203: 对所述嵌入水印比特序列进行择优选择, 通过解调得到检测出的水印比特序列。

[0140] 步骤204: 对所述水印比特序列进行升维转换, 得到作为水印的二值图像。

[0141] 所述对经过截取处理和加窗处理的带水印音频信号求取每帧中 ca3 级逼近信号小波系数的平均值, 根据所述平均值的正负号得到应用重复码技术后的嵌入序列, 提取出所有的嵌入比特, 得到嵌入水印比特序列, 具体包括: 将所述带水印输入音频信号按 2048 点分帧, 加汉明窗, 得到所述经过截取处理和加窗处理的带水印音频信号;

[0142] 采用公式

$$[0143] \quad w'(k) = \text{sign}(\text{mean}(\text{ca3}(k))), 1 \leq k \leq 24 \times 24 \times 5$$

[0144] 其中, k 是序列标号, $w'(k)$ 是带水印音频在该位置处的序列值。

[0145] 计算所述带水印音频信号每帧中 ca3 级逼近信号小波系数的平均值, 若该平均值大于 0, 则提取出一个比特 '1'; 若该平均值小于 0, 则提取出一个比特 '-1', 不断重复该过程直到所有所述嵌入比特都被提取出来, 得到所述嵌入水印比特序列。

[0146] 所述对所述嵌入水印比特序列进行择优选择, 通过解调得到检测出的水印比特序列, 具体包括:

[0147] 采用公式

$$[0148] \quad w'(i) = \text{sign}\left(\sum_{k=5*(i-1)+1}^{k=N*i} w'(k)\right), 1 \leq i \leq 24 \times 24$$

$$[0149] \quad w''(i) = (1 - w'(i)) / 2, 1 \leq i \leq n \times n$$

[0150] 对所述嵌入水印比特序列进行择优选择, 通过解调得到检测出的水印比特序列 $w''(i)$ 。

[0151] 图3为本发明实施例一种基于恒定水印的鲁棒数字音频水印嵌入系统结构示意图

图。如图3所示,本发明实施例提供一种基于恒定水印的鲁棒数字音频水印嵌入系统,包括:小波分解模块301,用于对所述经过截取处理和加窗处理的每个音频帧进行三级小波分解,得到每个音频帧的逼近小波系数;二值图像处理模块302:,用于采用固定大小的二值图像作为水印,将所述二值图像进行处理得到二值序列;叠加模块303,用于将所述二值序列,嵌入到每一个对应的原始音频帧中,与对应的所述逼近小波系数进行叠加处理,得到新的逼近小波系数;逆变换模块304,用于将所述新的逼近小波系数逆变换到时域,得到新的音频帧;合并模块305,用于合并所述新的音频帧,得到嵌入水印的时域音频信号。

[0152] 可选的,所述小波分解模块301,具体包括:分帧单元,用于对输入的音频信号按照256帧长进行分帧,得到所述经过截取处理的音频帧。

[0153] 加窗单元,用于对所述音频帧按如下公式加汉明窗:

[0154] $w(i) = 0.54 - 0.46 * \cos(2\pi i / 256)$

[0155] 其中, i 表示帧号, $w(i)$ 表示第 i 帧对应的窗函数系数。

[0156] 小波分解单元,用于对每个所述的音频帧进行三级小波分解,小波基选用Daubechies或haar,得到每个音频帧的逼近小波系数。

[0157] 可选的,所述二值图像处理模块302,包括二值图像处理单元,具体包括:

[0158] 降维单元,用于采用公式 $W = \{w(i); w(i) \in \{1, 0\}, 1 \leq i \leq 24 * 24\}$,对所述二值图像进行降维处理得到一维序列,其中, W 表示最终的一维序列;这里表示的是24行24列的二值图像。

[0159] 二进制相位移控单元,用于采用公式 $w'(i) = 1 - 2 * w(i)$,对所述一维序列中的每个水印比特位进行二进制相位移控进行调制映射,得到反相序列;其中, $w'(i)$ 表示经过调制后的序列。

[0160] 重复码技术应用单元,用于采用公式

[0161] $w'(k) = w'(i) \quad 5 * i - 4 \leq k \leq 5 * i$

[0162] $W' = \{w'(k); w'(k) \in \{+1, -1\}, 1 \leq k \leq 24 * 24 * 5\}$

[0163] 对所述反相序列应用5倍重复码得到二值序列;其中, $w'(k)$ 表示应用重复码后得到的序列, k 是新序列的标号, W' 表示最后的序列。

[0164] 可选的,所述叠加模块303,包括叠加单元,用于将小波系数与对应的所述序列值进行叠加处理,所述二值序列的每一个序列值与相应音频帧的ca3级的每一个逼近小波系数一一对应,得到原始音频在同一位置的新的逼近小波系数;

[0165] 采用公式

[0166]
$$\begin{cases} \text{if } w'(k) = 1 & x'(k, j) = x(k, j) - m(k) + \alpha \\ \text{if } w'(k) = -1 & x'(k, j) = x(k, j) - m(k) - \alpha \end{cases}$$

[0167] 将 $W'(k)$ 嵌入到所述音频帧中;

[0168] 其中, $x'(k, j)$ 表示原始音频第 k 帧ca3级第 j 个逼近小波系数, $x(k, j)$ 表示新的音频第 k 帧ca3级第 j 个逼近小波系数, $m(k)$ 是原始音频第 k 帧ca3逼近小波系数的平均值, α 是与 $m(k)$ 同量级的一个实数。

[0169] 图4为本发明实施例一种基于恒定水印的鲁棒数字音频水印检测系统结构示意图。如图4所示,本实施例提供一种基于恒定水印的鲁棒数字音频水印检测系统,包括:

[0170] 平均值求取模块401,用于对经过截取处理和加窗处理的带水印音频信号求取每帧中ca3级逼近信号小波系数的平均值。

[0171] 嵌入水印比特序列获取模块402,用于根据所述平均值的正负号得到应用重复码技术后的嵌入序列,提取出所有的嵌入比特,得到嵌入水印比特序列。

[0172] 择优调制模块403,用于对所述嵌入水印比特序列进行择优选择,通过解调得到检测出的水印比特序列。

[0173] 二值图像获取模块404,用于对所述水印比特序列进行升维转换,得到作为水印的二值图像。

[0174] 可选的,所述平均值求取模块401包括平均值求取单元,具体包括:

[0175] 分帧单元,用于对带水印的音频信号进行定帧长分帧,得到所述经过截取处理的音频帧。

[0176] 加窗单元,用于对所述音频帧加汉明窗,得到所述经过加窗处理的音频帧。

[0177] 平均值求取单元,用于对所述经过截取处理和加窗处理的带水印音频信号求取每帧中ca3级逼近信号小波系数的平均值。

[0178] 可选的,所述嵌入水印比特序列获取模块402包括嵌入水印比特序列获取单元,具体包括:

[0179] 提取单元,用于根据所述平均值的正负号得到应用重复码技术后的嵌入序列,提取出所有的嵌入比特,得到嵌入水印比特序列。

[0180] 嵌入水印比特序列获取单元,采用公式

[0181] $w'(k) = \text{sign}(\text{mean}(\text{ca3}(k)))$, $1 \leq k \leq 24 \times 24 \times 5$

[0182] 计算每帧中ca3级逼近信号小波系数的平均值,并根据平均值的正负号得到应用重复码技术后的嵌入水印比特序列。

[0183] 其中,k是序列标号, $w'(k)$ 是带水印音频在该位置处的序列值,N表示重复码的倍数,n表示所述二值图像的行或列数;若该平均值大于0,则提取出一个比特‘1’;若该平均值小于0,则提取出一个比特‘-1’,不断重复该过程直到所有嵌入比特都被提取出来,得到嵌入水印比特序列。

[0184] 可选的,所述择优调制模块403,包括择优调制单元,采用公式

[0185] $w'(i) = \text{sign}\left(\sum_{k=N*(i-1)+1}^{k=N*i} w'(k)\right)$, $1 \leq i \leq 24 \times 24$

[0186] $w''(i) = (1 - w'(i)) / 2$, $1 \leq i \leq n \times n$

[0187] 对所述嵌入水印比特序列进行择优选择,通过解调得到检测出的水印比特序列 $w''(i)$ 。

[0188] 可选的,所述二值图像获取模块404包括二值图像获取单元,用于对所述比特序列 $w''(i)$ 进行升维转换,得到作为水印的二值图像。

[0189] 通过上述的方法以及系统实现了音频水印的嵌入与提取,最后,根据下式计算出原始水印比特序列与所述提取出的水印比特序列之间的误比特率。

[0190]
$$BER = \frac{1}{576} \sum_{i=1}^{1 \leq i \leq 24 \times 24} w(i) \oplus w''(i)$$

[0191] 音频水印算法的评价标准可以分为:

[0192] 1. 感知质量评测标准: 分为主观感知质量评测以及客观感知质量评测, 主观感知质量评测即将原始音频和带水印音频提供给一组听众, 利用主观区分度SDG (Subjective Difference Grades) 打分, SDG分值如图所示:

[0193]

SDG	描述
0.0	不可感觉
-1.0	可感觉但不刺耳
-2.0	轻微刺耳
-3.0	刺耳
-4.0	非常刺耳

[0194] 而客观感知质量评测利用ITU-R (国际电信联盟无线电通信组) 所推荐的音频质量听觉评测标准来衡量音频水印技术, 其基于FFT的人耳模型 (或者基于滤波器的人耳模型), 将模型输出变量与神经网络结合, 给出一个量值作为听觉质量客观区分度ODG (Objective Difference Grades):

[0195]

ODG	描述
0.0	不可感觉
-1.0	可感觉但不刺耳
-2.0	轻微刺耳
-3.0	刺耳
-4.0	非常刺耳

[0196] 2. 鲁棒性评测标准: 鲁棒性可用提取出的水印误码率 (BER) 来衡量, 设嵌入和抽取的水印序列长度为B位比特, 则BER公式如下:

$$[0197] \quad BER = \frac{100}{B} \sum_{n=0}^{B-1} \begin{cases} 1, & w'(n) \neq w(n) \\ 0, & w'(n) = w(n) \end{cases}$$

[0198] 依据计算结果, 可以将鲁棒性分为: 零级、低级、中级、中高级、较高级、高级和最高级;

[0199] 3. 虚警率: 指代在没有嵌入水印的媒体中虚假地检测出水印的概率, 通常依据大量实验而统计。

[0200] 本发明采用鲁棒性作为音频水印的评价标准, 采用计算出的原始水印比特序列与提取出的水印比特序列之间的误比特率 (BER) 来衡量。将本发明与世界最佳音频水印产品之一的DataHiding™ for Audio技术 (来自IBM公司) 的抗攻击性能指标进行了对比, 其中, 攻击数字音频水印技术的方法通常有滤波、重采样、重量化、剪切、加噪声、时间缩放、变调、混频和有损压缩等。

[0201] 表1为数字音频水印受到MP3压缩、重采样、低通滤波等攻击时本发明的算法与DataHiding™ for Audio技术的抗攻击性能指标对比表, 如表1所示, 对于一般音频信号处理攻击, 本发明的方法受到比DataHiding™更强的攻击强度时, 仍能保持误比特率为0; 对于保持音调的时间缩放TSM同步攻击, 我们的算法可抵抗-3%—+3%的攻击强度, 对于变调可以抵抗-10%—+10%, 均与IBM DataHiding™ for Audio指标相同或接近, 这些比较反应了本发明采用的嵌入方法, 对于抵御数字音频水印攻击具有更好的效果, 使数字音频在抵御各类攻击时具有更高的鲁棒性, 提供了极高的安全性, 解决了数字音乐作品的版权保护问题。

[0202] 表1

编号	攻击类型	本算法抵抗强度	DataHiding™ 抵抗强度	比较 结果
1	MP3 压缩	32kbps	64kbps	>
2	重采样	16 kHz	16 kHz	=
3	低通滤波	4 kHz	8 kHz	>
4	回声	100ms, 0.5	100ms, 0.5	=
5	幅度缩放	150%, 10%	-----	-----
6	线性音调缩放	-10% - +10%	-10% - +10%	=
7	均衡化	'baseboost'	-----	-----
8	随机剪切	剪切 500, 1000, 5000, 10000 点	-----	-----
9	时间缩放	-3 - +3%	-4 - +4%	<=
10	抖动攻击	1/100, 1/500, 1/1000	-----	-----

[0204] 本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处。综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

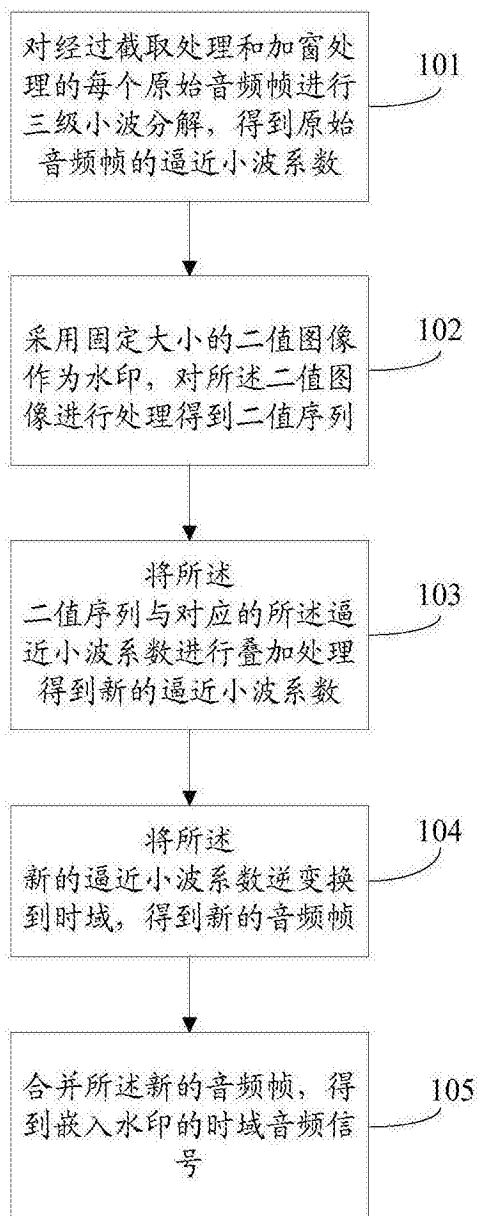


图1

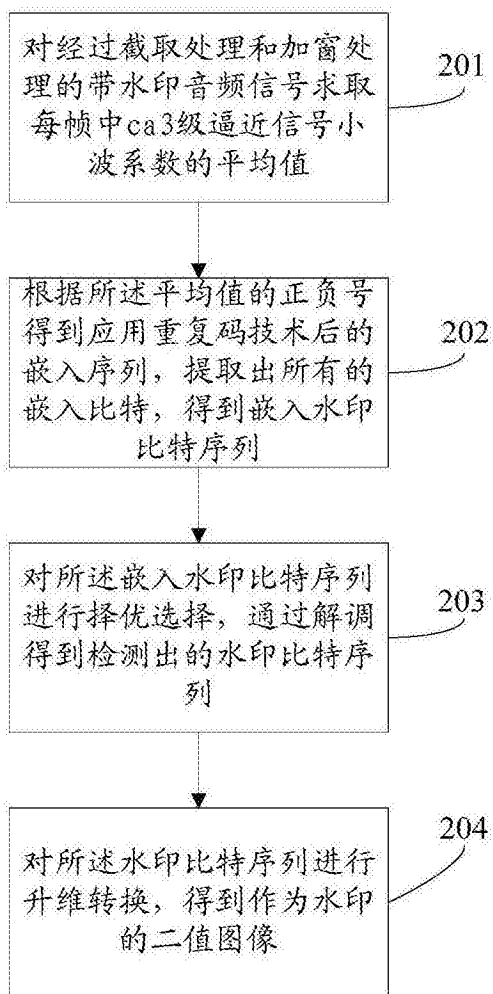


图2

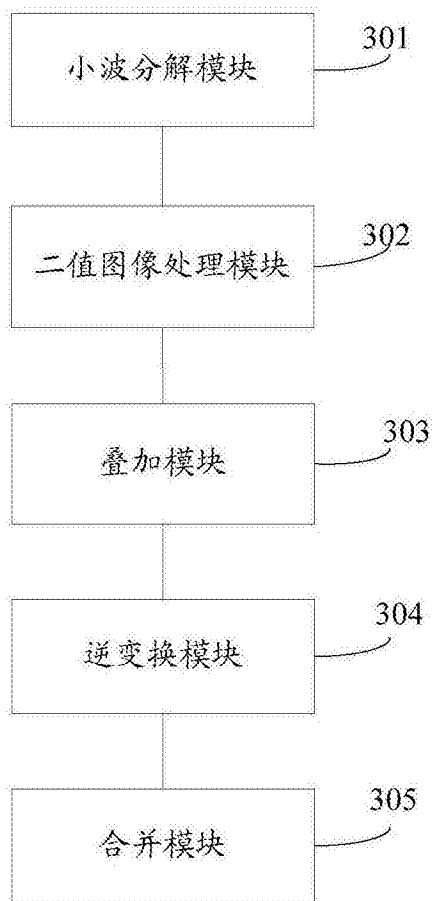


图3

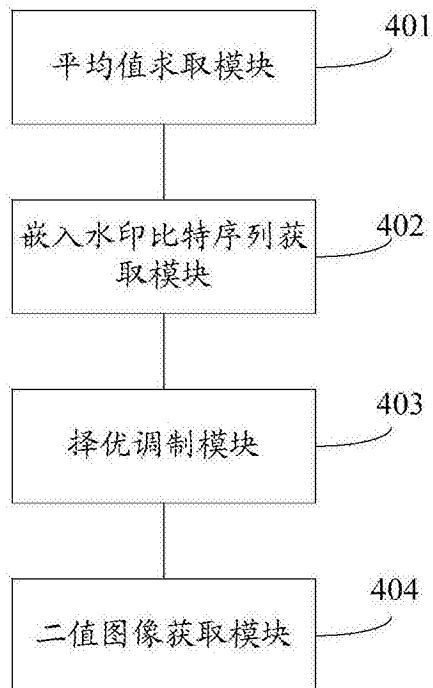


图4